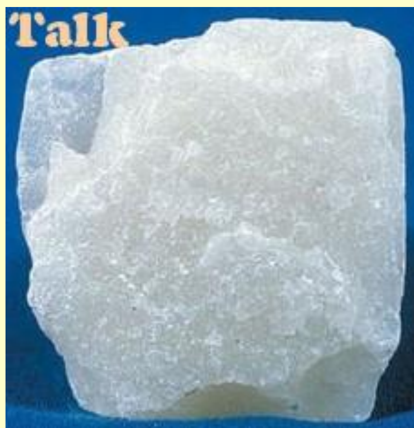
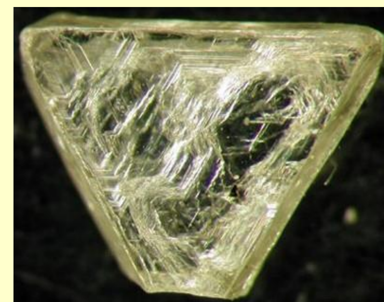


Keménység, keménységmérés

Dr. Kausay Tibor



Gyémánt

Budapest, 2011.

A *Poldi*-kalapácsos fémkeménységmérés frissítve: 2020. június

A keménységnek kétféle meghatározása ismeretes, és mind a kettőt a vizsgálati módszer jellegéből származtatják.

A *keménység*et általában benyomó-vizsgálatokkal határozzák meg, amelynek során annak a lenyomatnak a nagyságát mérik, amelyet a szilárd anyagba nyomott kemény benyomófej okozott (statikus módszer). Ez a *meghatározás abban az értelemben nem teljes*, hogy a keménységet az azzal arányos visszapattanási értékkel is meg lehet határozni, így például a *Shore*-keménységet Sklerograffal is mérik (dinamikus módszer).

Keménységgel az acélokat, öntöttvasat, faanyagokat, kőanyagokat, a természetes kaucsukot, a gumikat, műanyagokat, bőröket szokás jellemezni.

A keménységmérésnek statikus és dinamikus módjai vannak. Alapelvük – a fentieknek megfelelően – megegyezik, a benyomófejet meghatározott erővel benyomják a vizsgálandó anyagba, és megmérik a képlékeny és rugalmas részből összetevődő helyi alakváltozás nyomát.

Statikus **méréssel csak a képlékeny alakváltozással arányos nyom határozható meg.**

A benyomóerő nagyságától függően megkülönböztetik a makrokeménységet (ha a benyomóerő F > 30 N), a közepes keménységet (ha a benyomóerő 2 – 30 N közé esik) és a mikrokeménységet (ha a benyomóerő F < 2 N). ***Statikus*** **keménységmérési eljárások közé tartozik a** ***Brinell*****, a** ***Vickers*** **és a** ***Rockwell*** **módszer, valamint a statikus vizsgálatra alkalmas** ***Shore*** **módszer.**

Dinamikus **mérés során a benyomófejet meghatározott távolságból, mozgási energiával a vizsgálandó anyaghoz ütik, illetve az anyagra ejtik, és mérik a visszapattanást vagy az ütőgolyó nyomának átmérőjét. Dinamikus méréssel elsősorban acél csövek, turbinatengelyek, kovácsolt acélok keménységét határozzák meg.** ***Dinamikus*** **keménységmérési eljárások közé tartozik a** ***Shore*****-keménység (dinamikus vizsgálatra alkalmas, például** ***Sklerograf*** **nevű készülék), az** ***ingás*** **keménység, az** ***ütőkeménység*** **(*****Poldi-kalapács*****) mérési módszere, a** ***Cristofoli-féle ejtőorsó*****. (Elvileg ide lehetne sorolni a betonok roncsolásmentes szilárdság vizsgálatára használt** ***Schmidt*** **kalapácsot is.)**

A statikus és dinamikus vizsgálat különbsége

- **Ha az anyag igénybevételét folyamatosan növeljük egészen a tönkremenetelig, akkor statikus vizsgálatot végzünk. Ebben az esetben 1 százalék alakváltozás 1-10 s alatt megy végbe.**
- **Ha a szerkezeti anyagot ütésszerű dinamikus hatásnak tesszük ki, akkor dinamikus vizsgálatokról beszélünk. Ekkor az anyag 1 százalékos alakváltozáshoz (10^{-2})-(10^{-6}) s kell.**

Forrás: Dr. Gácsi Zoltán: Fémtan II.

http://www.matsci.uni-miskolc.hu/new/files/jegyzetek/femtan2/Femtan_II.pdf

A keménység összefüggésben áll a szilárdsággal, ezért vizsgálatát például a szerkezeti acélok és a betonacélok esetén a húzószilárdság (szakító-szilárdság) meghatározására, ill. becslésére végzik főképp akkor, ha

- **a húzószilárdság közvetlen vizsgálatára nincs lehetőség;**
- **helyszíni vizsgálatot kell végezni;**
- **az anyag helyi húzószilárdságát kívánjuk meghatározni, pl. hegesztési varrat környezetében.**

A keménység jele betűjelből és számjelekből áll. A betűjel első betűje: *H* – amely a német *Härte*, ill. az angol *hardness* (keménység) szó kezdőbetűje, – második betűje a keménység vizsgálati módszerének kezdőbetűje, esetleg szereplő harmadik betűjele a keménység vizsgálati módszer alfajára utal.

Az acél húzószilárdságának betűjele az idők folyamán változott, de acél-fajtánként és előírásonként is különböző lehet:

σ_B **(betonacél: MSZ 339:1962)**

R_m **(szerkezeti acél: MSZ 500:1974; MSZ 6259:1974; betonacél: MSZ 339:1980; MSZ 339:2008; MSZ 339:2010; MSZ EN 10080:2005)**

f_t **(betonacél: MSZ EN 1992-1-1:2010; MSZ EN 1992-1-2:2013; MSZ EN 1992-2:2009)**

A keménységmérésre számos módszer és eszköz áll rendelkezésre, amelyek közül a legmegfelelőbbet a vizsgálandó anyagtól és a vizsgálat céljától, körülményeitől függően kell kiválasztani.

Az acélok különböző módszerek szerinti keménység vizsgálati eredményei egymás között, ill. az alapvetőnek tekintett *Brinell-keménységre* átszámíthatók, sőt átszámítandók.

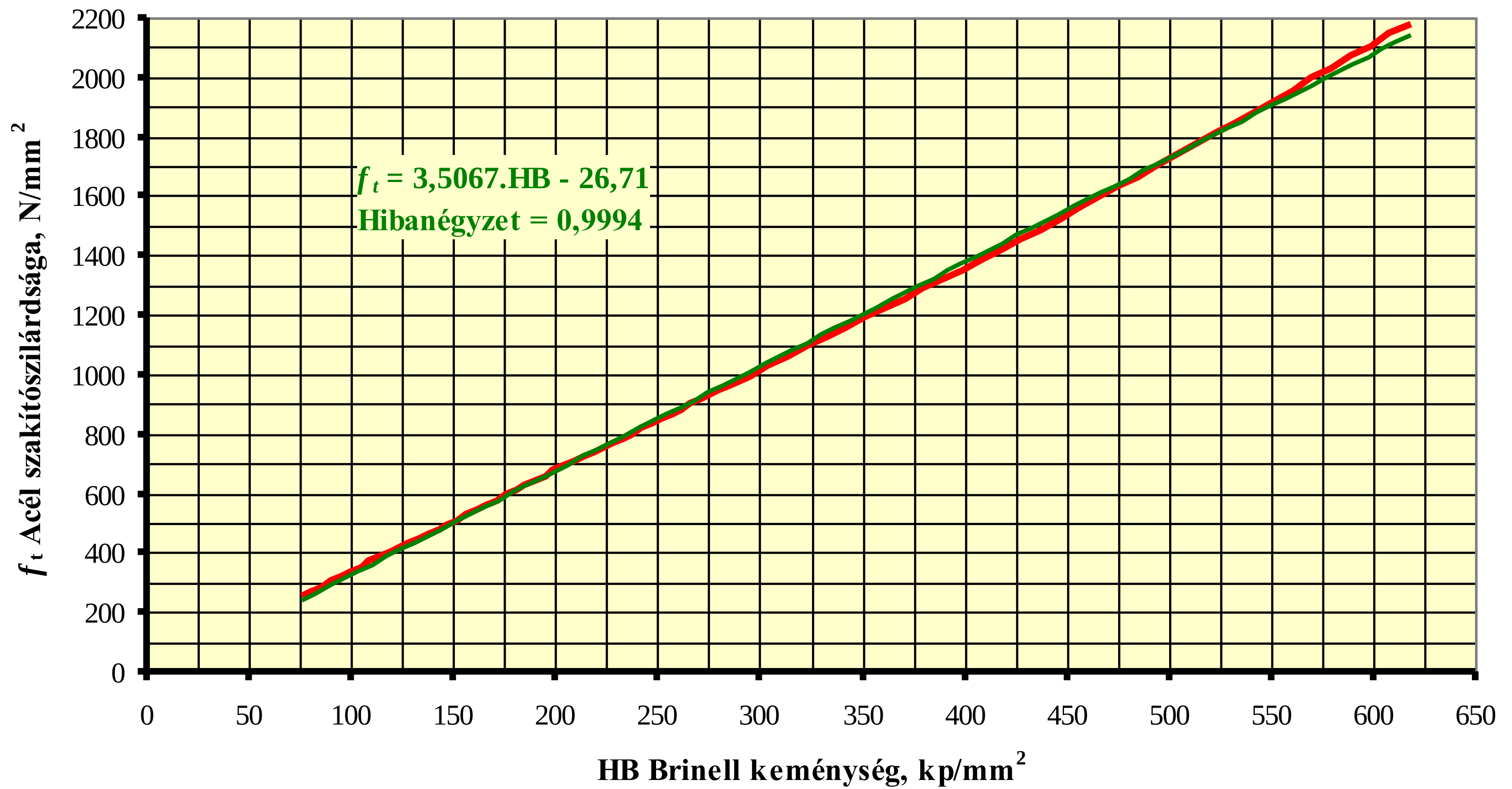
Az *1. ábrabeli* összefüggést egyenessel közelítve a következő átszámítási egyenletet kapjuk:

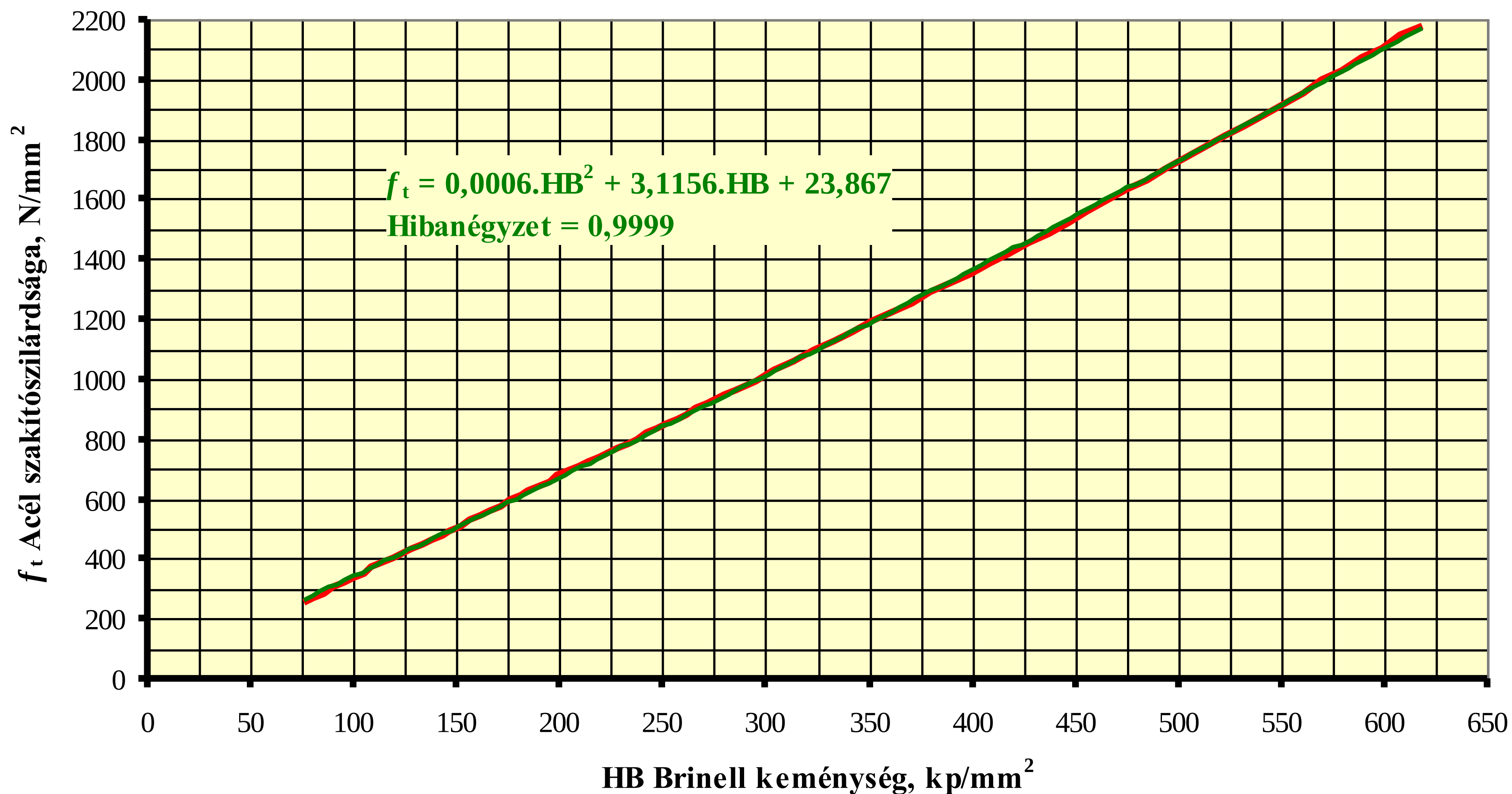
$f_t = 3{,}51 \times HB - 26{,}7$ [N/mm²]

A másodfokú parabolával leírt átszámítási egyenlet ennél bonyolultabb, de nem sokkal pontosabb:

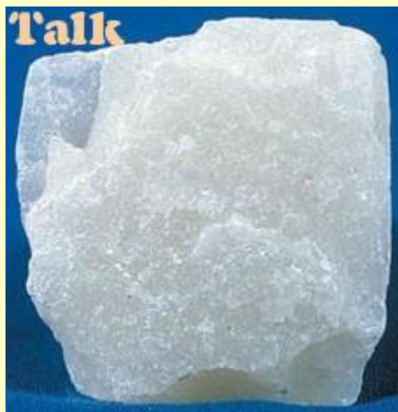
$f_t = 0{,}0006 \times HB^2 + 3{,}12 \times HB + 23{,}9$ [N/mm²]

Ezekbe az egyenletekbe a *HB Brinell*-keménység kp/mm² mértékegységben kifejezett értékét kell behelyettesíteni.


Egyenes összefüggés a Brinell keménység és az acél szakítószilárdsága között
f_t = 3,5067.HB - 26,71
Hibanégyzet = 0,9994
f_t Acél szakítószilárdsága, N/mm^2
2200
2000
1800
1600
1400
1200
1000
800
600
400
200
0
0
50
100
150
200
250
300
350
400
450
500
550
600
650
HB Brinell keménység, kp/mm^2



Négyzetes összefüggés a Brinell keménység és az acél szakítószilárdsága között
f_t = 0,0006.HB^2 + 3,1156.HB + 23,867
Hibanégyzet = 0,9999
f_t Acél szakítószilárdsága, N/mm^2
HB Brinell keménység, kp/mm^2
0
200
400
600
800
1000
1200
1400
1600
1800
2000
2200
0
50
100
150
200
250
300
350
400
450
500
550
600
650



BRINELL szerinti keménység



Gyémánt



Az eljárást
Johan August Brinell
(1849 – 1925)
svéd metallográfus,
acélgyári mérnök
vezette be 1900-ban,
és szabadalmaztatta
1924-ben.

Egy *D* átmérőjű golyót *F* terhelőerővel kell a megvizsgálandó anyagba nyomni, meghatározott idő után tehermentesíteni kell, majd meg kell mérni a benyomódás *d* átmérőjét. A *Brinell*-keménység (HB) értéke az *F* terhelőerő [kp] és a benyomódás gömbsüvege A_s felszínének [mm²] hányadosa:

$$HB = \frac{F}{A_s} = \frac{F}{D \cdot \pi \cdot h} = \frac{2 \cdot F}{D \cdot \pi \cdot \left(D - \sqrt{D^2 - d^2}\right)}$$

mert a *Pitagorasz*-tétel alkalmazásával felírhatjuk, hogy:

$$h = \frac{D}{2} - \sqrt{\left(\frac{D}{2}\right)^2 - \left(\frac{d}{2}\right)^2} = \frac{1}{2} \cdot \left(D - \sqrt{D^2 - d^2}\right)$$

A *Brinell*-keménység jele:

***Brinell-keménység* értéke, HB betűjel, golyóátmérő / terhelőerő / terhelési idő.**

Például, ha a *Brinell*-keménységmérő készülék 10 mm átmérőjű acélgolyójára ható 750 kp (7355 N) terhelőerő 15 másodpercig történt működtetésével kapott *Brinell*-keménység értéke HB = 100 kp/mm² (1000 N/mm²), akkor a Brinell-keménység jele:

100 HB 10/750/15









Brinell keménység mérő készülék

A *Brinell*-keménység jele még egyszer:

Tehát például, ha a *Brinell keménység*mérő készülék 10 mm átmérőjű acélgolyójára ható 750 kp (9,81·750 = 7358 N vagy 10·750 = 7500 N) terhelőerő 15 másodpercig történt működtetésével kapott *Brinell*-keménység értéke HB = = 100 kp/mm^2 (~1000 N/mm^2), akkor a *Brinell-keménység* jele:

$100^{(kp/mm^2)}$ HB $10/750^{(kp)}/15$

vagy a *Brinell*-keménységet N/mm^2-ben és a terhelőerőt N-ban kifejezve, a *Brinell-keménység* jele:

$1000^{(N/mm^2)}$HB $10/7500^{(N)}/15$

A 2000 decemberében visszavont MSZ 105-9:1977, majd MSZ 105-9:1986 „Fémek, ötvözetek, szilárdsági vizsgálatok. 9. rész: Keménységmérés Brinell szerint” című szabvány a *D* = 10; 5; 2,5; 2 és 1 mm átmérőjű acélgolyók alkalmazásával végzett mérésekre vonatkozott. Az acélok keménységét 10 mm átmérőjű acélgolyóval kell vizsgálni („Klein. Einführung in die DIN-Normen”, Teubner – Beuth Verlag, 2008.)

Ha az acélgolyó átmérője 10 mm, a vizsgálati terhelés 3000 kp (29430 N) és a terhelési idő 10-15 másodperc volt, akkor a *Brinell*-keménységet a keménység számértékével és HB jellel jelölték, ettől eltérő esetekben a *Brinell*-keménység jelében a golyóátmérőt, a vizsgálati terhelést és a terhelési időt is feltüntették.

Az MSZ 105-9:1977 szabvány helyébe 2000-ben az MSZ EN ISO 6506-1:2000 (ma MSZ EN ISO 6506-1:2014) „Fémek. Brinell-keménységmérés. 1. rész: Mérési eljárás (ISO 6506-1:1999, illetve ISO 6506-1:2014)” című szabvány lépett.





Terhelő „súlyok” a *Brinell* készülékhez

A jel a *Brinell* acélgolyóra ható terhelőerő kp-ban



Az áttétel 60,

az 500 kp jelű súly tényleges tömege 8,33 kg, a 250 kp jelűé 4,17 kg, a 62,5 kp jelűé 1,042 kg.

Így:

8,333×60 = 500 kp

4,167×60 = 250 kp

1,042×60 = 62,5 kp

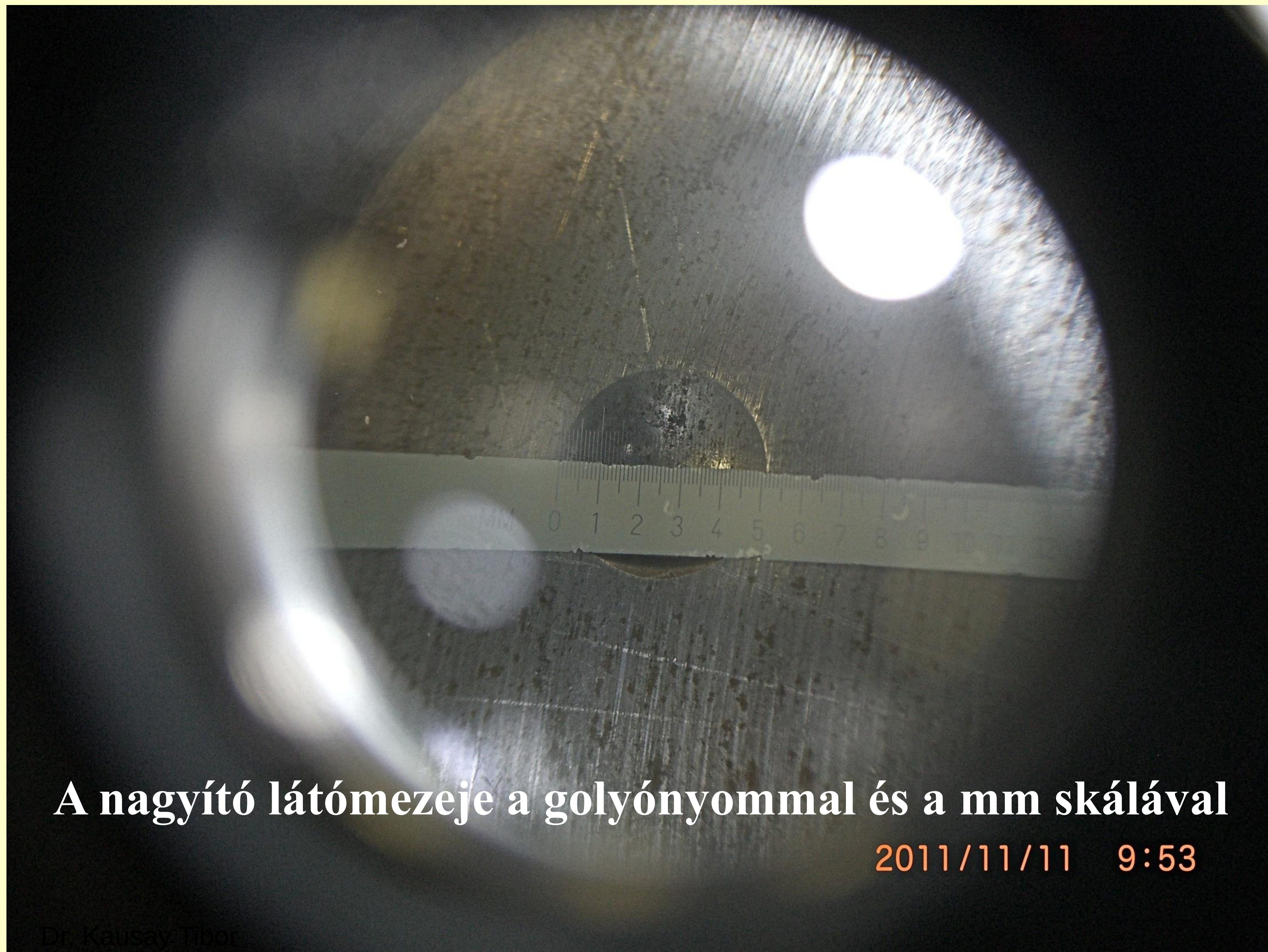
Brinell keménység mérő készülék



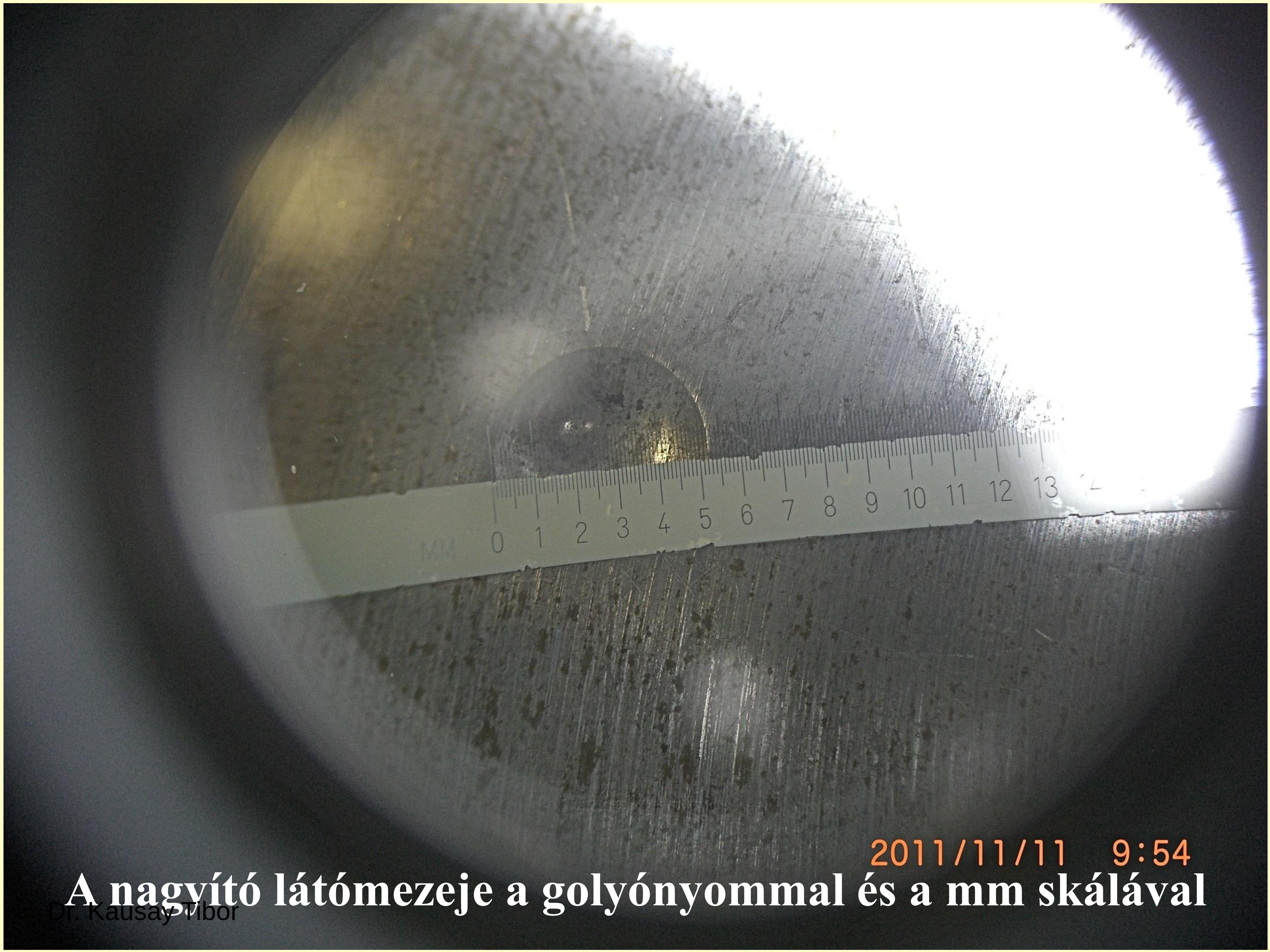
Nagyító a golyóbenyomódás átmérőjének leolvasásához

2011/11/11 9:55

Dr. Kausay Tibor



A nagyító látómezeje a golyónyommal és a mm skálával



A nagyító látómezeje a golyónyommal és a mm skálával

***Brinell*-keménységgel a lágy, vagy közepes keménységű acélok jellemezhetők.**

A 450 kp/mm²-nél nagyobb keménység mérésére a *Brinell* módszer nem alkalmas, helyette a *Rockwell* vagy a *Vickers* eljárás alkalmazandó.

Az acélok keménységét bármely módszerrel vizsgálják is, a *Brinell*-keménységre kell (szokás) visszavezetni. Az acél közelítő húzószilárdságát (szakítószilárdságát) a *Brinell*-keménységből a következő összefüggéssel lehet meghatározni:

általában: $f_t = 3{,}5 \times HB$

pontosabban: $f_t = 3{,}51 \times HB - 26{,}7 \quad [N/mm^2]$

Ezekbe az egyenletekbe a *HB Brinell*-keménység kp/mm² mértékegységben kifejezett értékét kell behelyettesíteni.

Tehát még egyszer megismételve:

Az f_t = 3,51×HB$^{(kp/mm^2)}$ – 26,7 [N/mm^2] egyenletbe a *HB Brinell*-keménység kp/mm^2 mértékegységben kifejezett értékét kell behelyettesíteni, azaz például, ha az acélgolyó benyomódásának átmérője *d* = 4,0 mm, akkor a következő ábrán látható diagram szerint a *Brinell-keménysé*g HB = 230 kp/mm^2, és az acél szakítószilárdsága (húzószilárdsága) =

$$f_t = 3{,}51 \times 230 - 26{,}7 = 780{,}6 \text{ N/mm}^2$$

Ha a *Brinell*-keménység N/mm^2 mértékegységben van megadva, például HB = 2300 N/mm^2, akkor vagy visszaszámoljuk kp/mm^2-re (2300/10 ~ 230 kp/mm^2), és a fenti képletet használjuk, vagy N/mm^2-ben, de a következő képletbe helyettesítjük be a HB *Brinell*-keménységet:

$$f_t = 0{,}351 \times HB^{(N/mm^2)} - 26{,}7 \text{ N/mm}^2$$

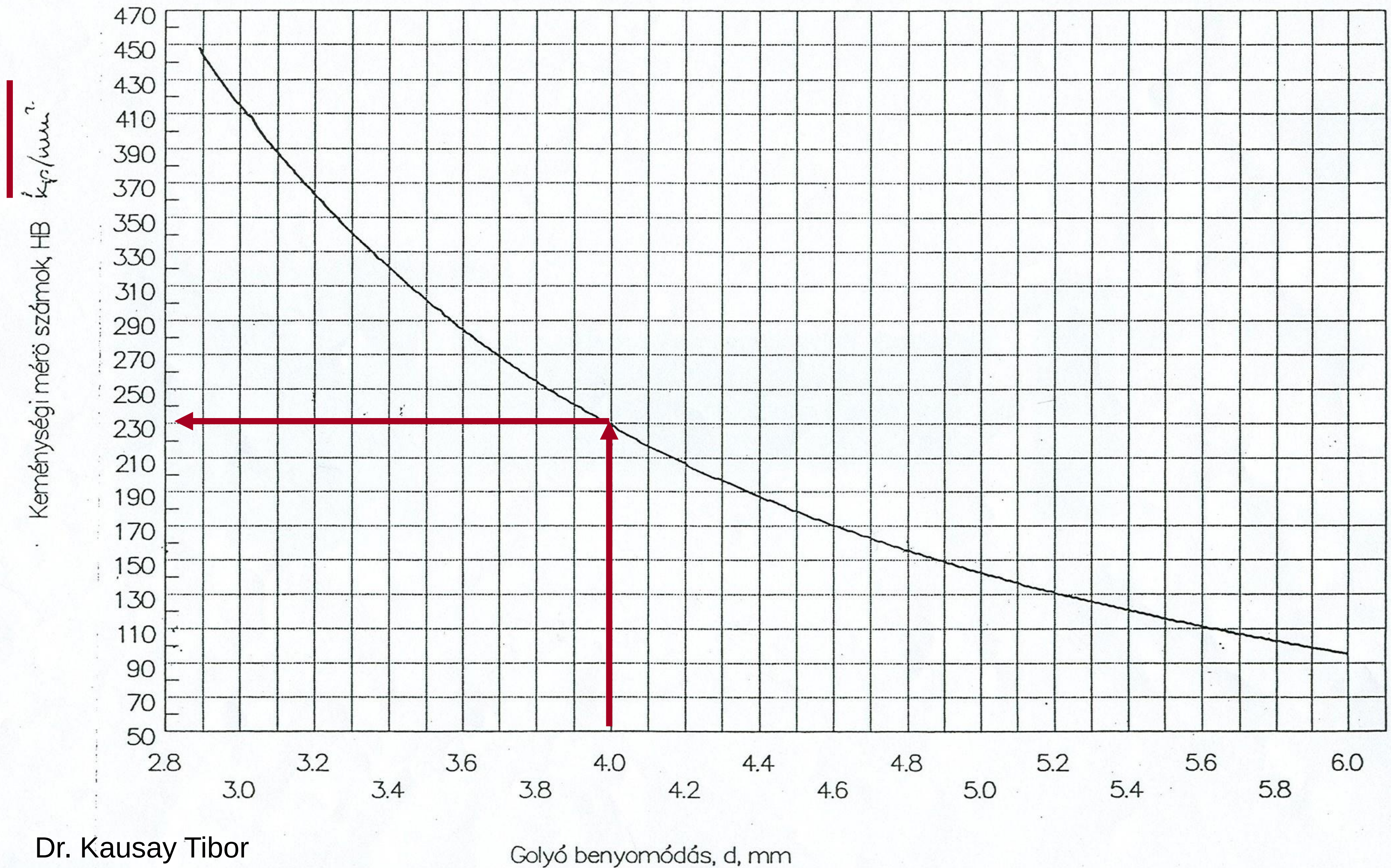
Megjegyzés: Az acél szakítószilárdságának, *Brinell-*, *Vickers-* és *Rockwell*-keménységének összetartozó értékeit például

- **a visszavont MI 15191:1979 „Acélok Vickers, Brinell és Rockwell szerinti keménységének és szakítószilárdságának összehasonlító táblázata”,**
- **a visszavont DIN 50150:2000 „Prüfung metalischer Werkstoffe – Umwertung von Härtewerten” című német**
- **és az érvényes MSZ EN ISO 18265:2014 „Fémek. A keménység értékek átszámítása” című nemzetközi szabvány tartalmazza.**

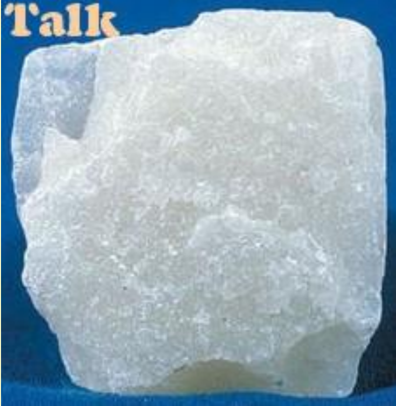
Ilyen, a DIN 50150 szabványra hivatkozó átváltó táblázat például itt is található:

https://waltertools.blaetterkatalog.de/blaetterkatalog/index.php?catalog=catalog/de/2017&startid=1710#page_C2

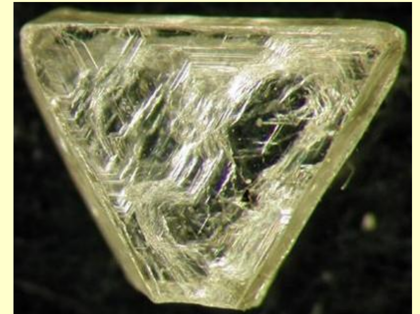
Az igen terjedelmes (91 oldal, 32 hivatkozás) MSZ EN ISO 18265:2014 szabvány A.1 táblázata egyezik a visszavont MI 15191:1979 műszaki irányelv 2. táblázatával, és mindkettőben szerepelnek keménységekhez tartozó szakítószilárdságok is. Mindezek német előírásokon alapulnak.



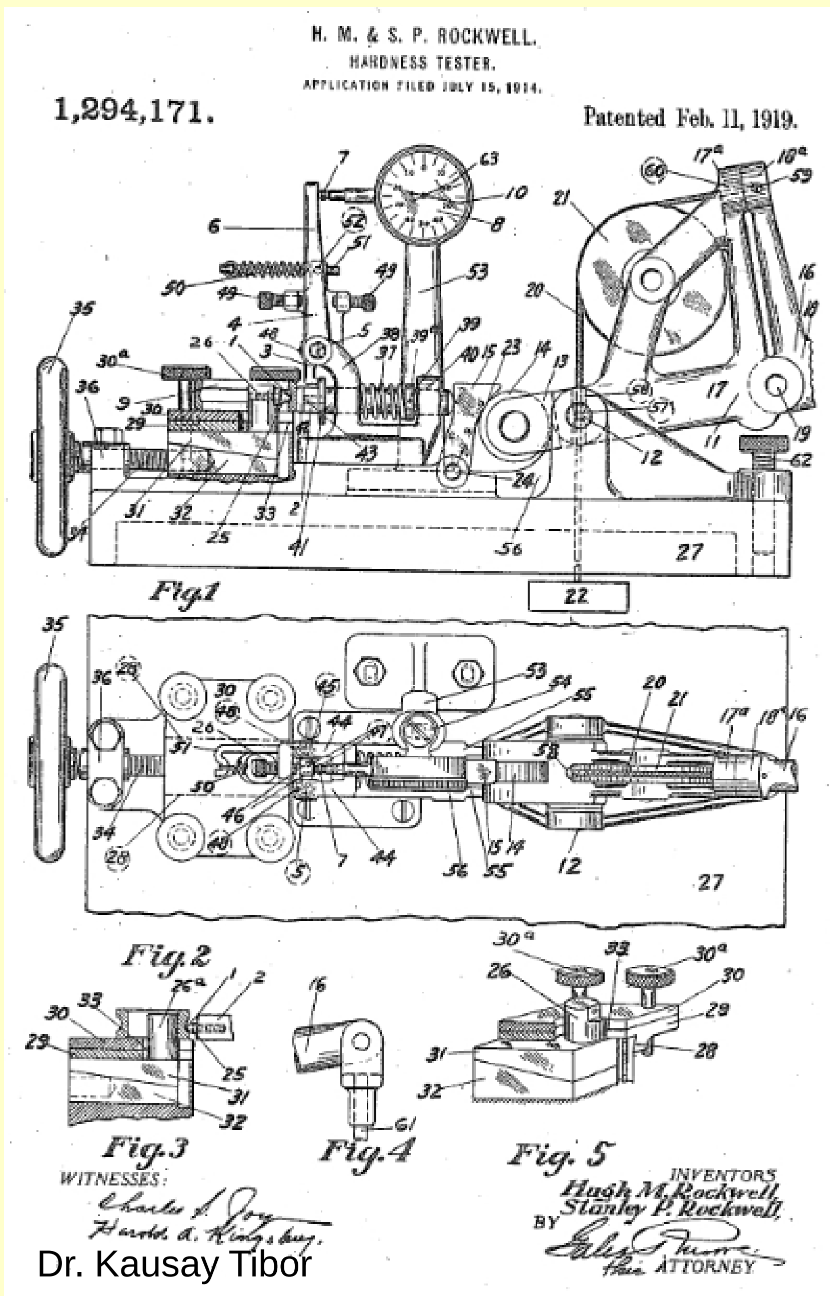
Dr. Kausay Tibor



ROCKWELL szerinti keménység



Gyémánt



A *Rockwell*-keménység mérő
Hugh M. Rockwell (1890-1957) és
Stanley P. Rockwell (1886-1940)
amerikai mérnökök
együttműködéséből jött létre az
Egyesült Államok északkeleti
részén fekvő Connecticut államban.

A *Rockwell*-keménység mérő
készülék szabadalmát
1914-ben nyújtották be,
és a szabadalmat
1919-ben fogadták el.

Hugh M. Rockwell
és *Stanley P. Rockwell*
nem voltak rokonok.

***Rockwell-keménysé*ggel az edzett, illetve nagy szilárdságúra nemesített acélok keménységét lehet kifejezni.**

A *Rockwell-keménysé*g jele az MSZ EN ISO 6508-1:2006 szabvány szerint:

- *Rockwell*-keménység számértéke
- *Rockwell*-keménység betűjele (HR)
- Skála jele (A, B, C, D, E, F, G, H, K, N, T; tapad a keménység betűjeléhez)
- Terhelőtest anyagjele (acél esetén: S, kemény fém esetén: W)

A *Rockwell*-keménység jele például: 70 HRF S

A *Rockwell-keménysé*g jele az MSZ 105-11:1977 szabvány szerint:

- *Rockwell*-keménység számértéke
- *Rockwell*-keménység betűjele (HR)
- Nyomótest jele, *kúpos gyémánt* nyomótest esetén *A* vagy *C*; *acélgolyó* nyomótest esetén *B* (ball); A nyomótest jele tapad a keménység betűjeléhez: például HRC)

A *Rockwell*-keménység jele például: 70 HRC

F_0 = 10 kp CGS mértékegység rendszerbeli előtehernek az SI mértékegység rendszerben megfelelő erő: 98 N

F_1 a „*C”-skála* esetén = 140 kp CGS mértékegység rendszerbeli főtehernek az SI mértékegység rendszerben megfelelő erő: 1373 N

Teljes vizsgáló erő a F_0 + F_1 = 150 kp CGS mértékegység rendszerbeli teljes teherből az SI mértékegység rendszerben megfelel: = 1471 N

A kúpos gyémánt nyomótest kúpjának csúcsszöge: 120°, az acélgolyó nyomótest átmérője 1/16” = 1,5875 mm

A tanszéki berendezés *gyémánt gúlával* működik.

Megjegyzés: Nincs általános eljárás a *Rockwell*-keménységnek más keménységre vagy szakítószilárdságra való átszámítására. Az ilyen átszámításokat lehetőleg kerülni kell, kivéve, amikor összehasonlító vizsgálatokból megbízható átszámítási módszer áll rendelkezésre.

A *Rockwell*-keménység mérés gyakorlati végrehajtása (A *HRC* értéket mérjük)

1. **A műszerasztalra helyezzük az acél próbatestet.**
2. **A vízszintes síkú kerékkel a műszerasztalt a *Rockwell*-golyóig emeljük, és ugyanezzel a kerékkel, az asztal további emelésével a próbatestre adjuk a F_0 = 10 kp előterhet. Az előteher működésekor a mérőóra kismutatója az alul lévő piros jelre mutat.**
3. **A jobb oldali felső kar lassú elforgatásával a F_1 = 140 kp főterhet ráengedjük a próbatestre (hidraulika).**
4. **Miután a mutató megállt a kar visszaforgatásával a főterhet megszüntetjük.**
5. **A „C”-skálán a *HRC* értéket leolvassuk.**

e = A benyomódás maradó mélysége a főterhelés levétele után 0,002 mm egységben kifejezve. HRC = 100 – e





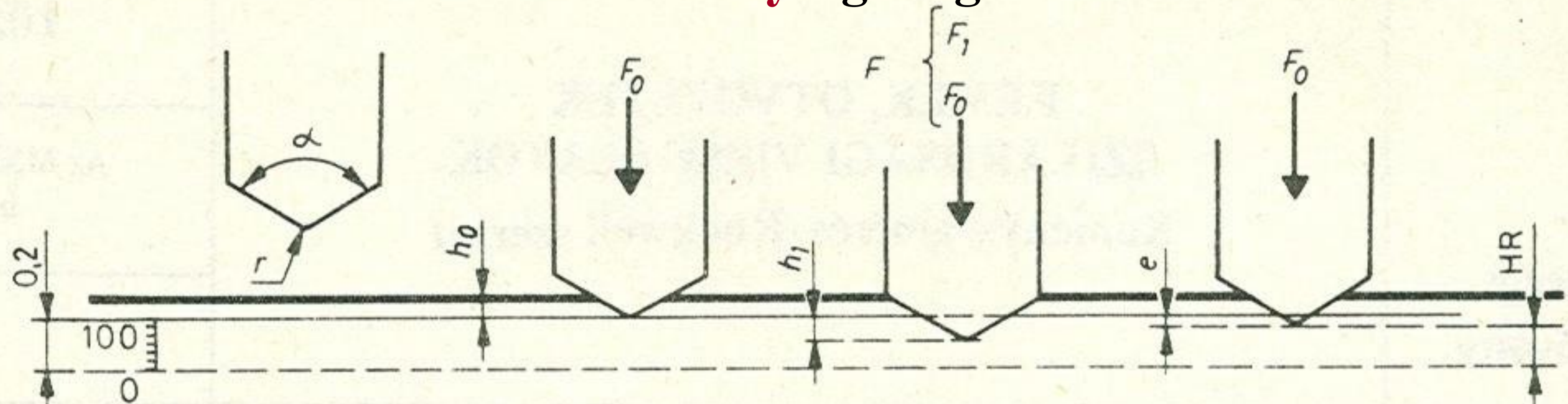


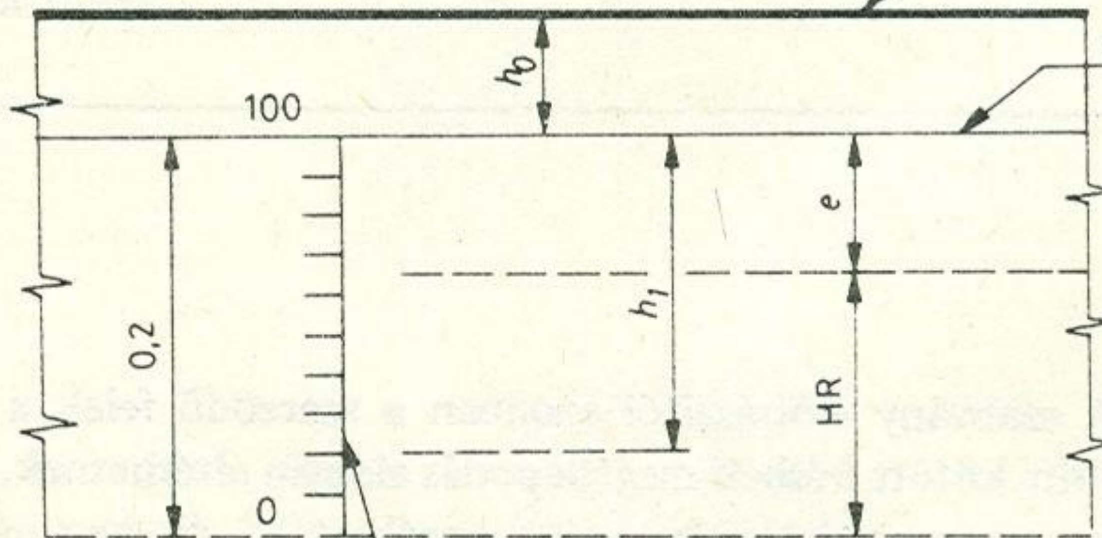


Rockwell-keménység mérő készülék gyémánt gúlával

Dr. Kausay Tibor

A *Rockwell*-keménység meghatározása





HRC = 100 – e =
= 100 – h/2 = 100 – e;
ahol a *h* és a „2" µm-ben (0,002 mm) értendő.

Átlagos hajszál átmérője kb. 80 µm = 0,080 mm

Dr. Kausay Tibor

Megjegyzés az előző diakockán lévő ábrához:

Az „e” azt fejezi ki, hogy a benyomódás µm-ben kifejezett maradó mélysége a 2 µm-nek hányszorosa.

Jobb oldali táblázat:

A vizsgálandó próbatest megengedett legkisebb vastagsága a várható *Rockwell-keménységtől* függően.

Dr. Kausay Tibor

A skála megnevezése	Rockwell keménység	A próbatest minimális vastagsága, mm
A	70	0,7
A	80	0,5
A	90	0,4
B	25	2,0
B	30	1,9
B	40	1,7
B	50	1,5
B	60	1,3
B	80	1,0
B	90	0,8
B	100	0,7
C	20	1,5
C	30	1,3
C	40	1,2
C	50	1,0
C	60	0,8
C	67	0,7

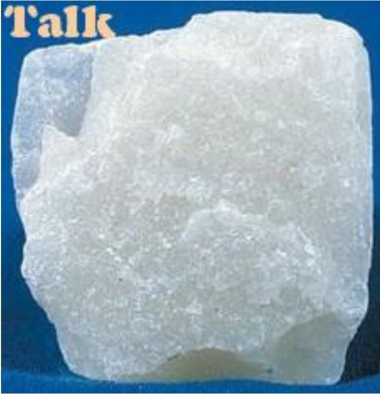
A mikrométer hosszúságegység, jele: µm.

1 µm = 10^{-6} m = 10^{-3} mm = 0,001 mm

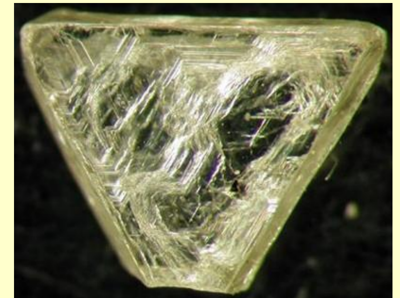
Ezt a hosszúságegységet régebben mikronnak nevezték, és µ-vel jelölték. Ez az elnevezés és jelölés ma már nem szabványos.

µ görög m-betű, kiejtése: mű

Tehát
1 µ (mikron) = 1 µm (mikrométer)



VICKERS szerinti keménység



Gyémánt

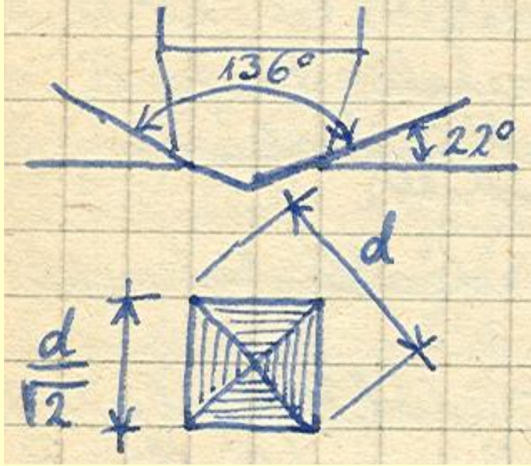
A *Vickers*-keménység mérést
a Vickers Ltd. két mérnöke,
Robert L. Smith* és *George E. Sandland
1921-ben fejlesztette ki.

Az 1828-ban alapított
Vickers Ltd.
a legjelentősebb angol gépgyár és hadi üzem volt.
Termékei közé hajók, páncélosok, léghajók, repülőgépek, hajómotorok stb. tartoztak.





A *Vickers*-**keménység** az ***F*** [kp] terhelőerő és a gyémánt gúla nyomótesttel okozott gúla alakú maradó benyomódás ***A*** felszínének hányadosa. A benyomódás ***A*** felszíne a ***d*** átmérővel kifejezve a következőképpen adódik:



$$A = 4\cdot\left(\frac{d}{\sqrt{2}}\cdot\frac{d}{2\sqrt{2}}\cdot\frac{1}{2}\right)\cdot\frac{1}{\cos 22°} = \frac{d^2}{1{,}854368}$$

A *Vickers keménység* tehát:

$$HV = \frac{F}{A} = 1{,}854368\cdot\frac{F\,[kp]}{d^2}$$

Ha az *F* terhelőerő értékét N-ban fejezzük ki, akkor a *HV* összefüggés alakja a következő:

$$HV = \frac{F}{A} = 0{,}189086\cdot\frac{F\,[N]}{d^2}$$



Poldi-kalapács



Gyémánt

A *Poldi*-kalapács egy hordozható keménységmérési eszköz, amellyel az acél, bronz, alumínium, réz, sárgaréz és öntöttvas (szürke- és kéregöntvények), tehát a fémek *Brinell*-keménységének közelítő értékét lehet meghatározni,

- **ha a vizsgált elem tömege ≥ 5 kg;**
- **ha a 70 kp/mm² = 686,5 N/mm² névleges szakítószilárdságú (ténylegesen 65-75 kp/mm² = 637,5-735,5 N/mm² szakítószilárdságú), névlegesen $HB_{etalon\text{-}névleges}$ = 197 kp/mm² *Brinell*-keménységű (ténylegesen 0,928×197 = 183 és 1,071×197 = 211 közötti HB_{etalon} *Brinell*-keménységű) etalon acélrúdon keletkezett benyomódás átmérője ≤ 4,5 mm;**
- **ha a benyomódások középpontjának egymástól való távolsága az etalon acélrúdon ≥ 15 mm.**

A *Poldi*-kalapácsot beépített fémszerkezetek vagy telepített laboratóriumi berendezésekbe nagy méretük folytán be nem helyezhető fémpróbatestek *Brinell*-keménységének vizsgálatára használjuk.

A következőkben elsősorban az acél anyagok, mint szerkezeti elemek *Poldi*-kalapácsos keménységmérésével foglalkozunk.



A Poldi-kalapács nevét a Prága melletti Kladno városban működő, *Hut Poldi* elnevezésű cseh acélmű neve után kapta, ahol 1890-1900 között fejlesztették ki.

Hut = kohó

A *Hut Poldi* acélművet

Karl Wittgenstein

(1847-1913)

alapította 1889-ben,

és a kohászati üzemnek felesége, *Leopoldine Kallmus* asszony (tehetséges zongoraművésznő) becenevét adta.

Poldi-kalapács



Poldi-kalapács fémek keménységének mérésére

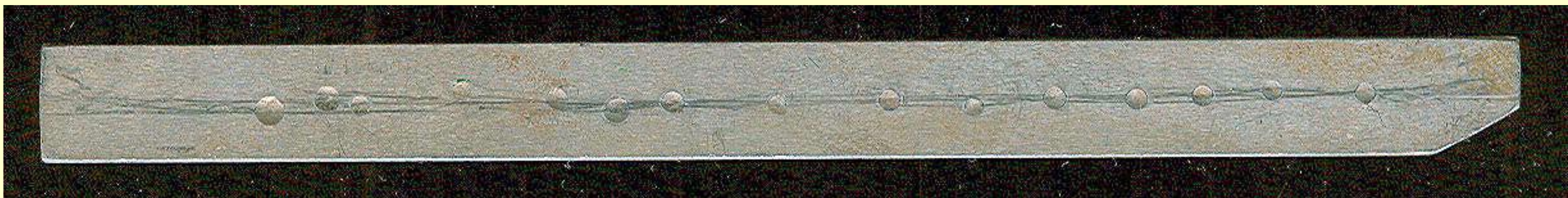




Poldi-kalapács fémek keménységének mérésére



Ütésnyomok a Poldi-kalapáccsal vizsgált próbatesten



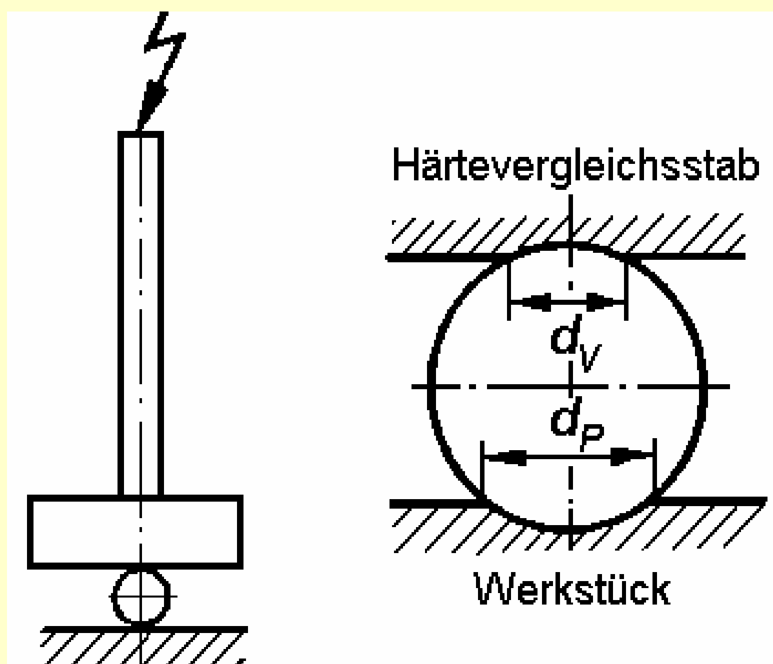
A *Poldi*-kalapács etalonja (*Poldi-has*áb) ütésnyomokkal



„*α*” az etalon rúd névleges *Brinell*-keménységének kalibrációs szorzója (kalibrációs korrekciós tényező) a *Poldi*-hasáb (etalon) véglapján



Felül az etalon rúd (Härtevergleichsstab)



Alul a vizsgált próbatest (Werkstück)

***Poldi*-kalapács**

HB_p = a próbatest Brinell keménysége
HB_v = az etalon rúd Brinell keménysége
D = a golyó átmérője
A méretek mm-ben értendők.

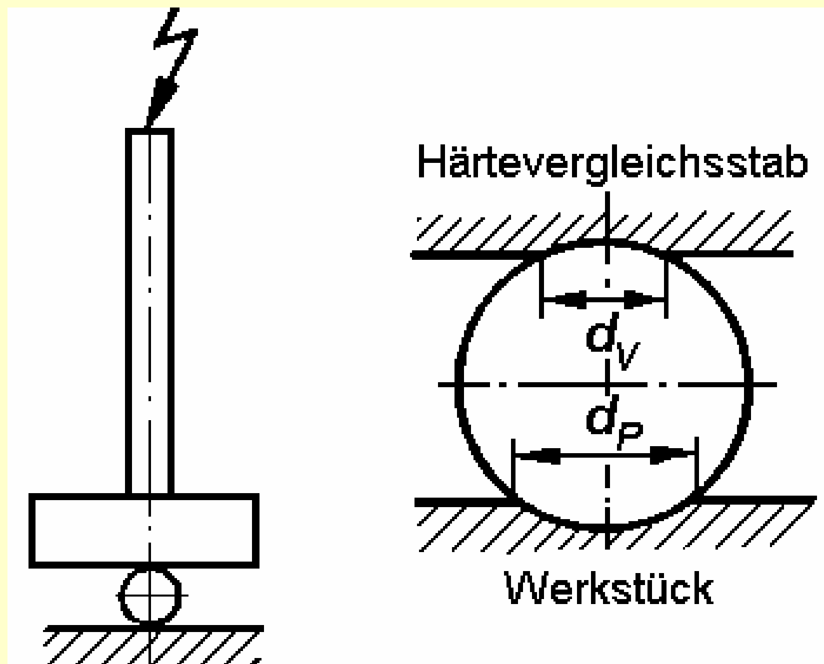
A ***Poldi*-kalapács** a fémek, így például az ötvözetlen vagy kevéssé ötvözött, 20 mm-nél vastagabb, legalább 5 kg tömegű acélok *Brinell*-keménységének becslésére alkalmas hordozható eszköz, amelynek tartozéka az ismert *Brinell*-keménységű etalon acélrúd (hasáb).



α szorzó (korrekciós tényező) a *Poldi*-hasáb (etalon) véglapján



Felül az etalon rúd (Härtevergleichsstab)



Alul a vizsgált próbatest (Werkstück)

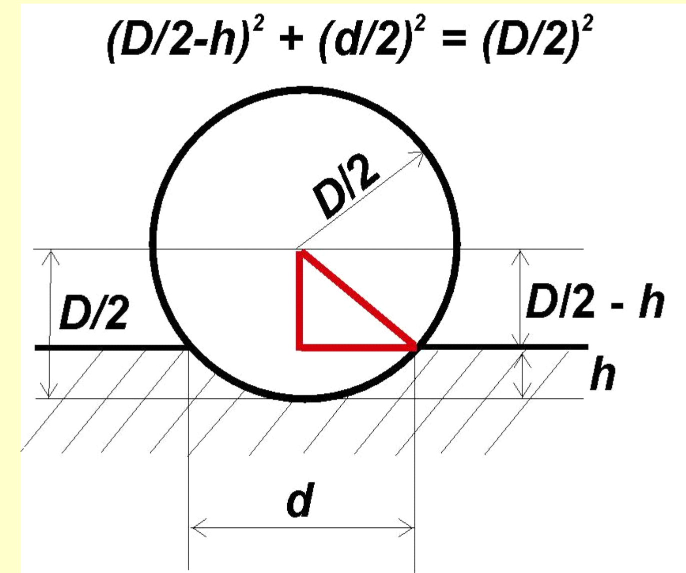
Poldi-kalapács

HB_p = a próbatest Brinell keménysége
HB_v = az etalon rúd Brinell keménysége
D = a golyó átmérője
A méretek mm-ben érten...

A ***Poldi*-kalapác**... z ötvözetle... ...mm-né... ...kg tömegű a... ...ségének becslésére alk... ...ható eszköz, amelynek tart... ...a az ismert *Brinell*-keménységű etalon rúd (hasáb).

A továbbiakban használt jelölések:
d_v helyett d_{etalon}, HB_v helyett HB_{etalon},
d_p helyett $d_{fém}$, HB_p helyett HB_{Poldi}

A *Poldi*-keménység kiszámításához szükséges összefüggés felírásához idézzük fel a *Brinell*-keménység összefüggését:



$$HB = \frac{F}{A_s} = \frac{F}{D\cdot\pi\cdot h} = \frac{2\cdot F}{D\cdot\pi\cdot\left(D-\sqrt{D^2-d^2}\right)}$$

mert a *Pitagorasz*-tétel alkalmazásával felírhatjuk, hogy:

$$h = \frac{D}{2} - \sqrt{\left(\frac{D}{2}\right)^2 - \left(\frac{d}{2}\right)^2} = \frac{1}{2}\cdot\left(D-\sqrt{D^2-d^2}\right)$$

A *Poldi*-keménység főképp az ütés *dinamikus* volta folytán tér el a *Brinell*-keménységtől, amely utóbbi mérése során az erőátadás *statikus*.

***Ha feltételezzük,* hogy a *D* átmérőjű acélgolyóval rendelkező *Poldi-kalapács*ra mért egyazon ütés következtében a *Poldi-kalapács* etalon acélrúdjában keletkezett benyomódási mélység (h_{etalon}) és a vizsgált fémben (például acélban) keletkezett benyomódási mélység ($h_{fém}$) hányadosa ($h_{etalon}/h_{fém}$) *fordított arányban áll* a *Poldi*-kalapács etalon rúdja *Brinell*-keménységének (HB_{etalon}) és a vizsgált fém *Brinell*-keménységének (HB_{Poldi}) hányadosával (HB_{etalon}/HB_{Poldi}), akkor az előző diakocka szerint felírhatjuk, hogy:**

$$HB_{Poldi} = HB_{etalon} \times \frac{D - \sqrt{D^2 - d_{etalon}^2}}{D - \sqrt{D^2 - d_{fém}^2}}$$

Az így kapott eredményt még meg kell szorozni a *Poldi*-hasáb (etalon) véglapján található α korrekciós tényezővel.

A HB_{Poldi}-keménység kiszámítására a d_{etalon} és $d_{fém}$ benyomódási átmérőkből táblázatok állnak rendelkezésre, de e *Poldi*-táblázatokban szereplő *Brinell*-keménységek (HB_{Poldi}) értékei eltérnek a fenti összefüggéssel kiszámított értékektől.

Ennek oka az lehet, hogy míg a fenti képletben nem vették figyelembe a *Brinell*-vizsgálat statikus és a *Poldi*-vizsgálat dinamikus jellegének eltérő hatását a maradó alakváltozásra (a leolvasott benyomódási átmérőkre), addig a szabványok és a szabványokat követő műszergyártói használati útmutatók táblázatait feltehetőleg ennek az eltérésnek a figyelembevételével szerkesztették meg.

Erről részletesebben a

http://www.betonopus.hu/szakmernoki/180-poldi.pdf

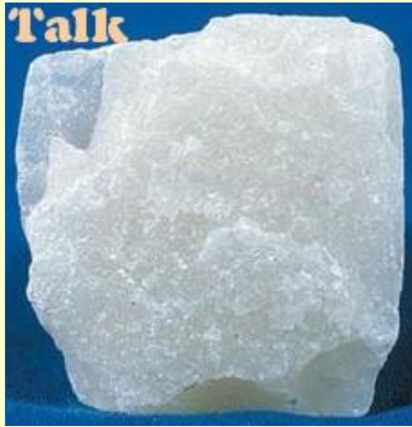
dolgozatban lehet olvasni.

A STATIKUS ÉS DINAMIKUS VIZSGÁLAT KÜLÖNBSÉGE

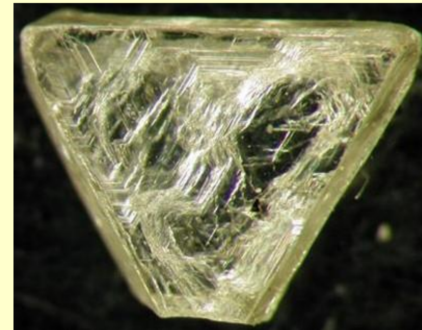
- Ha az anyag igénybevételét folyamatosan növeljük egészen a tönkremenetelig, akkor **statikus vizsgálatot** végzünk. Ebben az esetben 1 százalék alakváltozás 1-10 s alatt megy végbe.
- Ha a szerkezeti anyagot ütésszerű dinamikus hatásnak tesszük ki, akkor **dinamikus vizsgálatokról** beszélünk. Ekkor az anyag 1 százalékos alakváltozáshoz (10^{-2})-(10^{-6}) s kell.

Forrás: Dr. Gácsi Zoltán: Fémtan II.

http://www.matsci.uni-miskolc.hu/new/files/jegyzetek/femtan2/Femtan_II.pdf



SKLEROGRAF
ÉS
SKLEROSKOP



Gyémánt

D típusú Sklerograf

Dr. Kausay Tibor

D típusú Sklerograf (A jel fenn marad)

Härteprüfer SKLEROGRAF

Modell D

Vergleichswerte (annähernd)

SKL D	SH	Br H	Rock C	Rock B	K_z
22		112		64	38
23		120		68	42
24		129		72	45
25		136		75	48
26		145		78	50
27		149		80	51
28		156		82	53
29		165		84	56
30		172		87	58
31		180		89	62
32		186		91	63
33		195		92	67
34		202		94	69
35		207		95	70
36		218		97	75
37		227		98	78
38	36	234	20	100	81
39	37	241	21,5		83
40	38	250	23		86
41	39,5	259	24,5		89
42	41	268	26		94
43	42	275	27		96
44	43	285	28		100
45	44,5	293	29,5		101
46	46	302	31		104
47	47	309	32		107
48	48	317	33		109
49	49	327	34		113
50	50	337	35		118
51	51	347	36		120
52	52	357	37		123
53	53	368	38		126
54	55	380	39,5		131
55	56	391	40,5		136
56	58	404	42		141
57	59,5	412	43		144
58	61	423	44		148
59	62,5	437	45		153
60	63,5	450	46		157
61	65	462	47		161
62	66,5	474	48		166
63	69	488	49,5		171
64	71	501	50,5		175
65	72,5	514	51,5		180
66	74	530	52,5		185
67	75,5	543	53,5		190
68	77	555	54,5		194
69	81	571	55,5		200
70	83	585	56,5		205
71	85	595	57,5		208
72	87,5	614	58,5		215
73	91	632	60		221
74	94	645	61,5		226
75	98	665	63		232
76	101	683	64,5		239
77	103	706	66		247
78	104	719	67		252
79	105	739	68		258

SKL-D = Rückprallhöhe **„Sklerograf" D**

SH = Shore D Skleroskop-Härte

Rock C = Rockwell C-Härte

Br. H = Härtezahl nach Brinell 10/3000/30

Rock B = Rockwell B-Härte

K_z = Zugfestigkeit (annäh.) 0,35 x H

Dr. Kausay Tibor

Sklerograf

Hordozható keménységmérő eszköz nagyobb (kb. 1 kg tömegtől) próbatestek vizsgálatára. A mérő eszközt merőlegesen kell a próbatestre helyezni, az ejtő kalapácsot ütközésig ki kell húzni, majd a kioldó gomb megnyomásával kell a próbatestre esni hagyni, ahonnan visszapattan. A visszapattanó ejtő kalapácsot a legmagasabb helyzetben a megfogó szerkezet megfogja, lehetővé téve a visszapattanási érték leolvasását a skálán.

Ezt az értéket táblázat segítségével át lehet számítani a HB, HRB, HRC keménységre és az acél szakítószilárdságára (N/mm²).

Azt a fajta hordozható keménységmérőt, amely nem rendelkezik kalapács megfogó szerkezettel, általában „Skleroskop”-nak nevezik, de a megfogó szerkezettel rendelkező eszközt is nevezhetik Skleroskopnak.



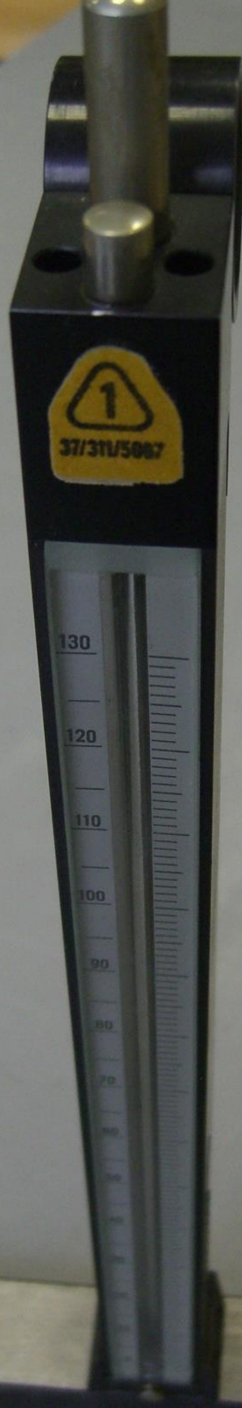
Holle-féle Skleroskop

123/7224



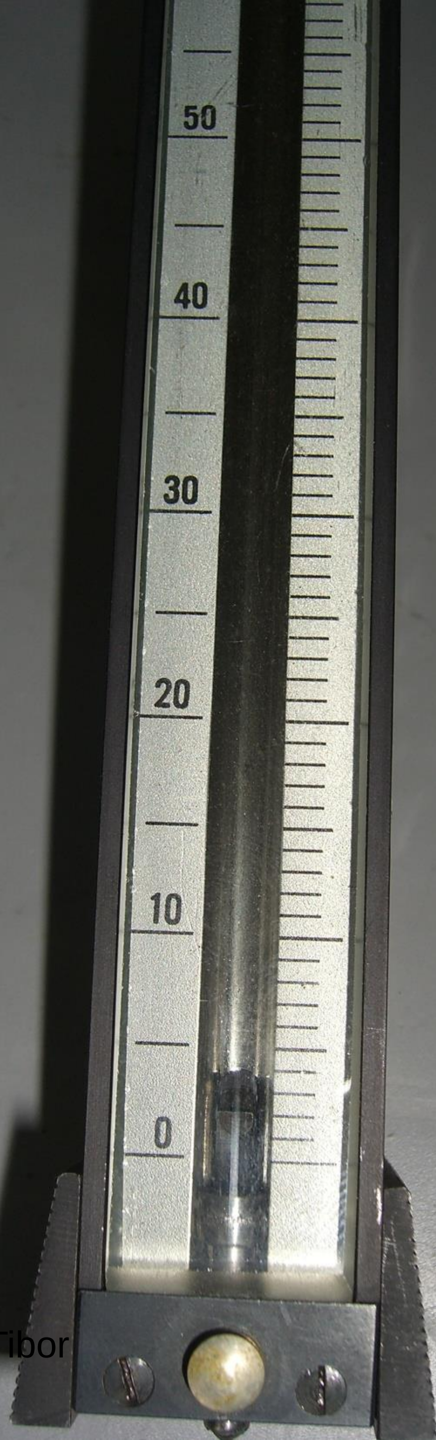
ING. BERNHARD HOLLE
Feinmechanische Werkstätten
Magdeburg · Spielhagenstr. 26

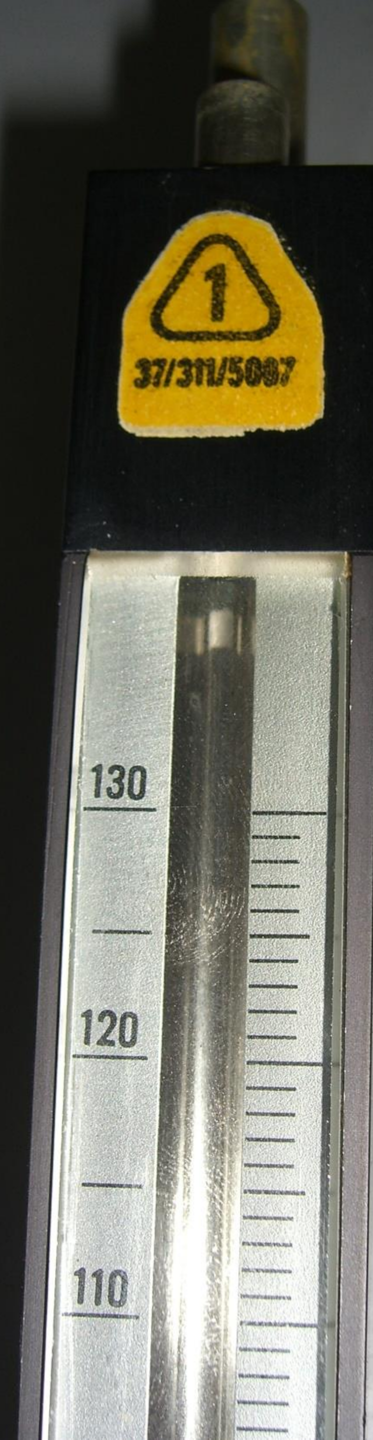
Dr. Kausay Tibor





Dr. Kausay Tibor





Dr. Kausay Tibor





Dr. Kausay Tibor

Hegesztési varrat és környezetének keménység vizsgálata

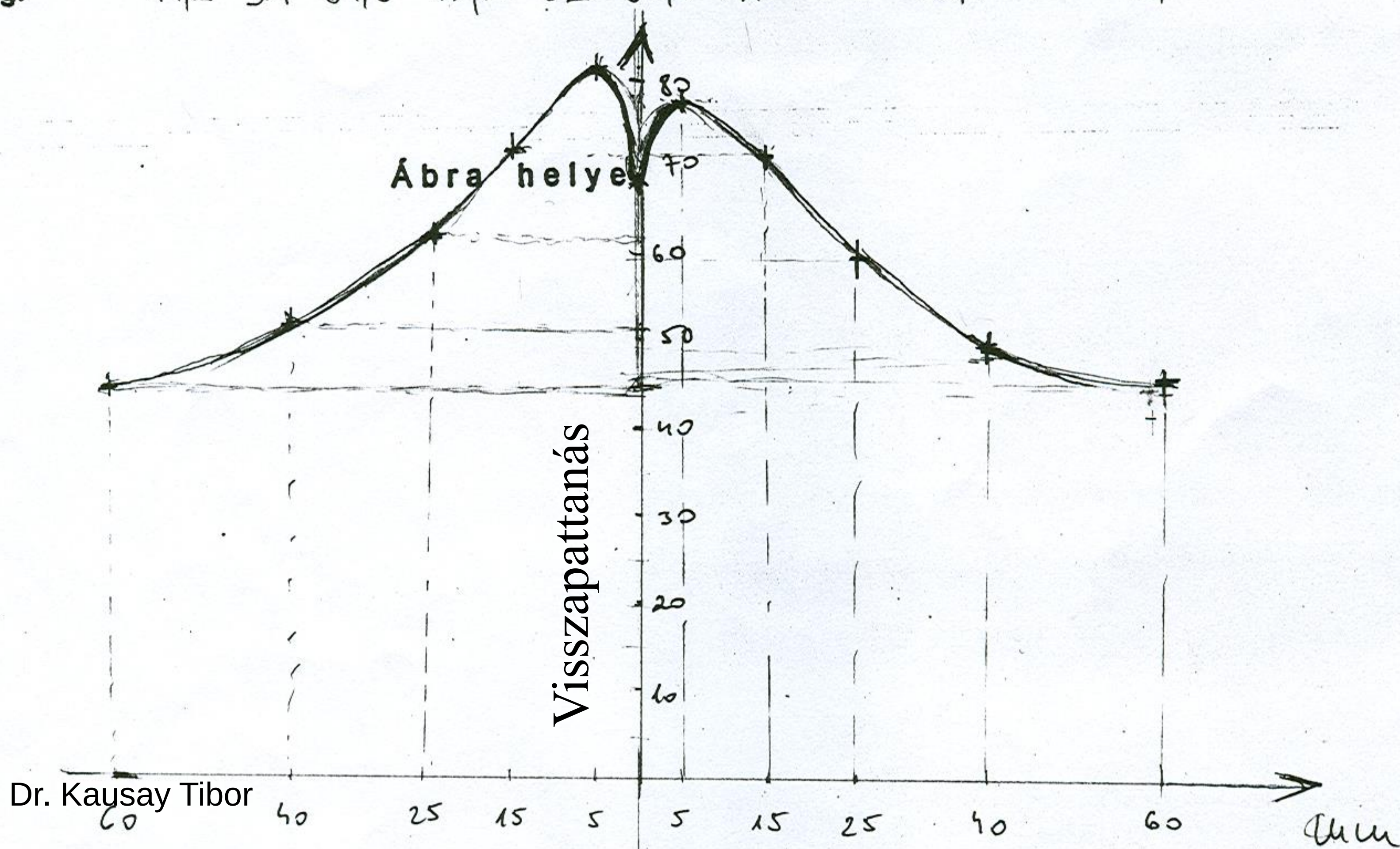


Dr. Kausay Tibor

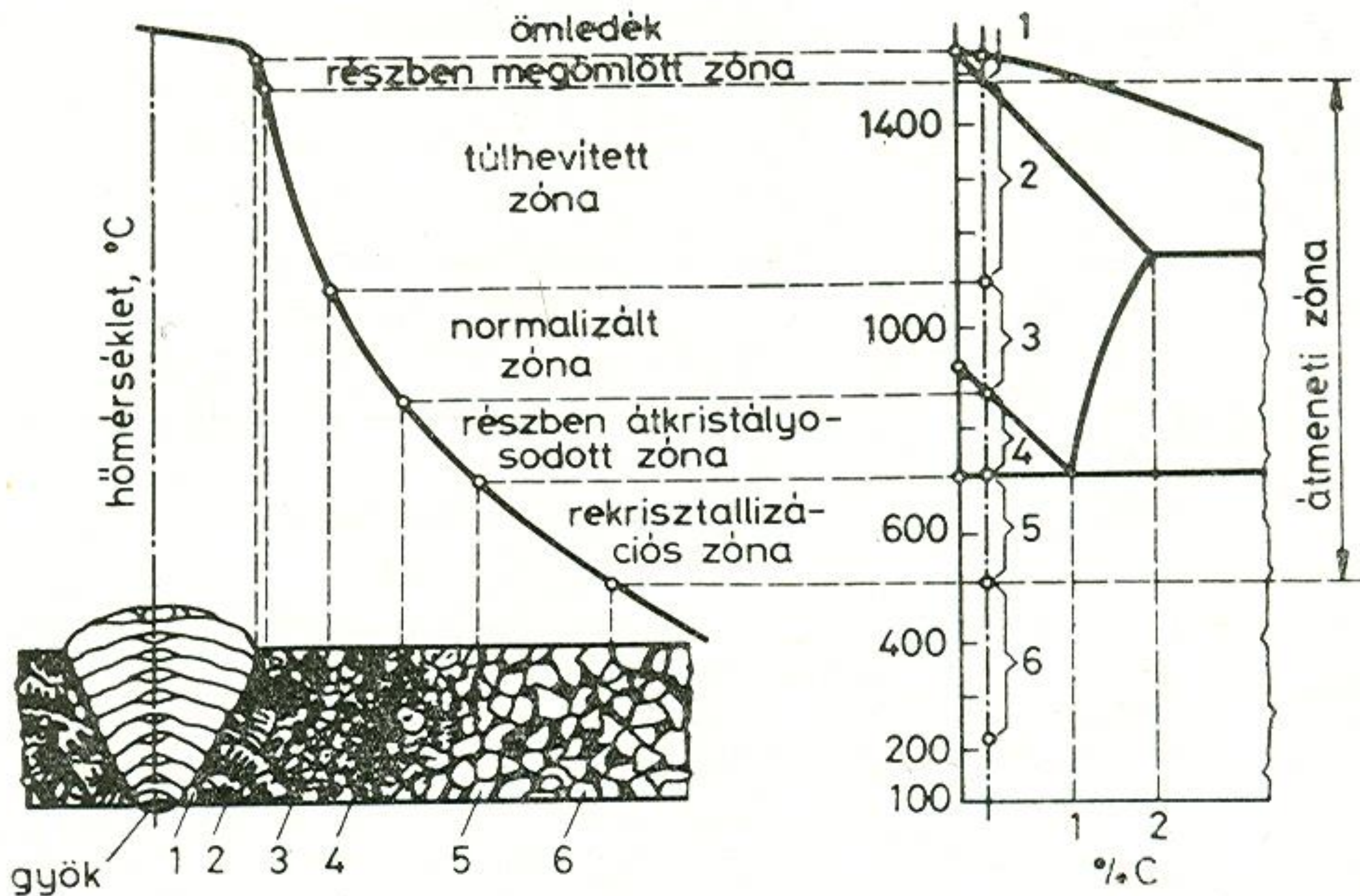
Hegesztési varrat és környezetének keménység vizsgálata

Varrat körüli keménység változása
Mérőeszköz: Sklerograf

Távolság a varrattól mm											
	60	40	25	15	5	0	5	15	25	40	60
	45	53	59	79	87	68	79	76	64	53	43
	45	52	65	72	74	74	76	72	58	51	47
	44	47	64	68	85	68	76	67	53	49	46
	40	52	60	75	80	63	75	67	65	48	47
	47	51	60	67	84	68	83	79	59	44	46
Átlag:	44,2	51	61,6	72,2	82	68,2	77,8	72,2	59,8	49	45,8



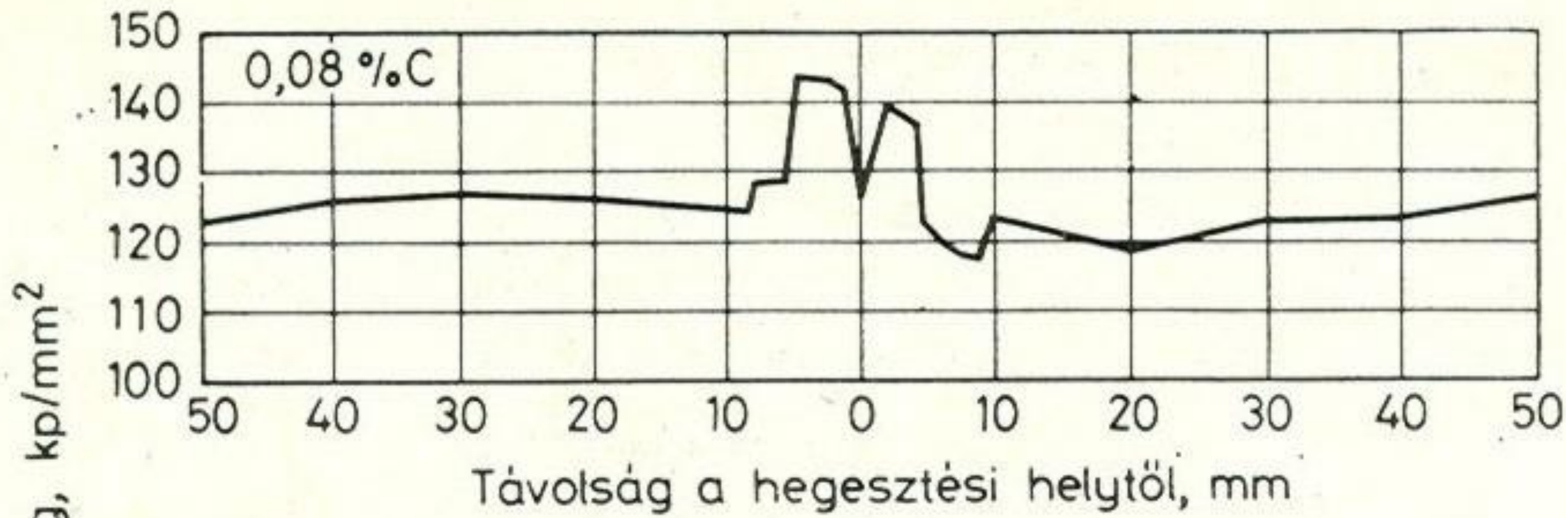
Dr. Kausay Tibor

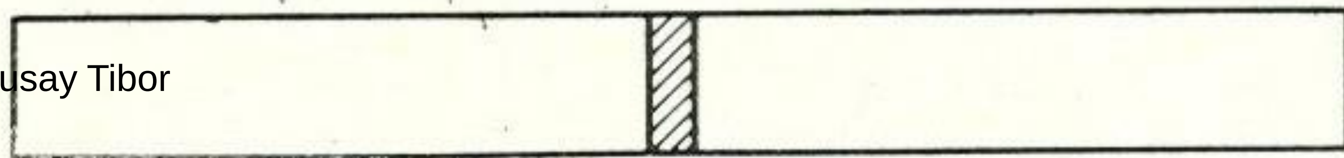


A hőfokeloszlás és szövetszerkezet kialakulása hegesztés alatt

Dr. Kausay Tibor

Forrás: Palotás László: "Mérnöki szerkezetek anyagtana" 2. kötet, Akadámiai Kiadó, 1979.





A keménység változása a varratban és az átmeneti zónában

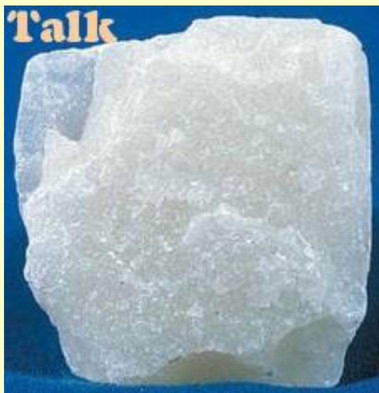
Forrás: Palotás László: „Mérnöki szerkezete anyagtana" 2. kötet. Akadémiai Kiadó, 1979.

A szénegyenértéket (C_{ekv} ill. C_{eq}) a hegeszthető betonacélokra az EN 10080:2005 európai szabvány az anyagvastagságtól függetlenül a következő képletből számítja ki:

$$C_{eq}^{\%} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Ni + Cu}{15}$$

és a hegeszthetőség feltételeként olvadékvizsgálat esetén $C^{\%} \leq 0{,}22$ és $C_{eq}^{\%} \leq 0{,}50$ tömeg%, illetve termékvizsgálat esetén $C^{\%} \leq 0{,}24$ és $C_{eq}^{\%} \leq 0{,}52$ tömeg% követelményt támasztja.





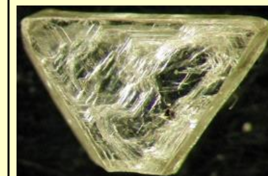
HORDOZHATÓ UNIVERZÁLIS KEMÉNYSÉGMÉRŐ



Gyémánt



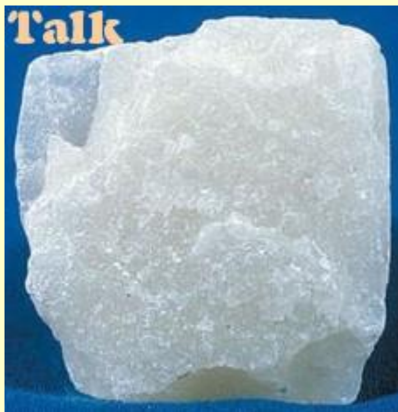
„PCE 1000” típusú hordozható keménység mérõ készülék







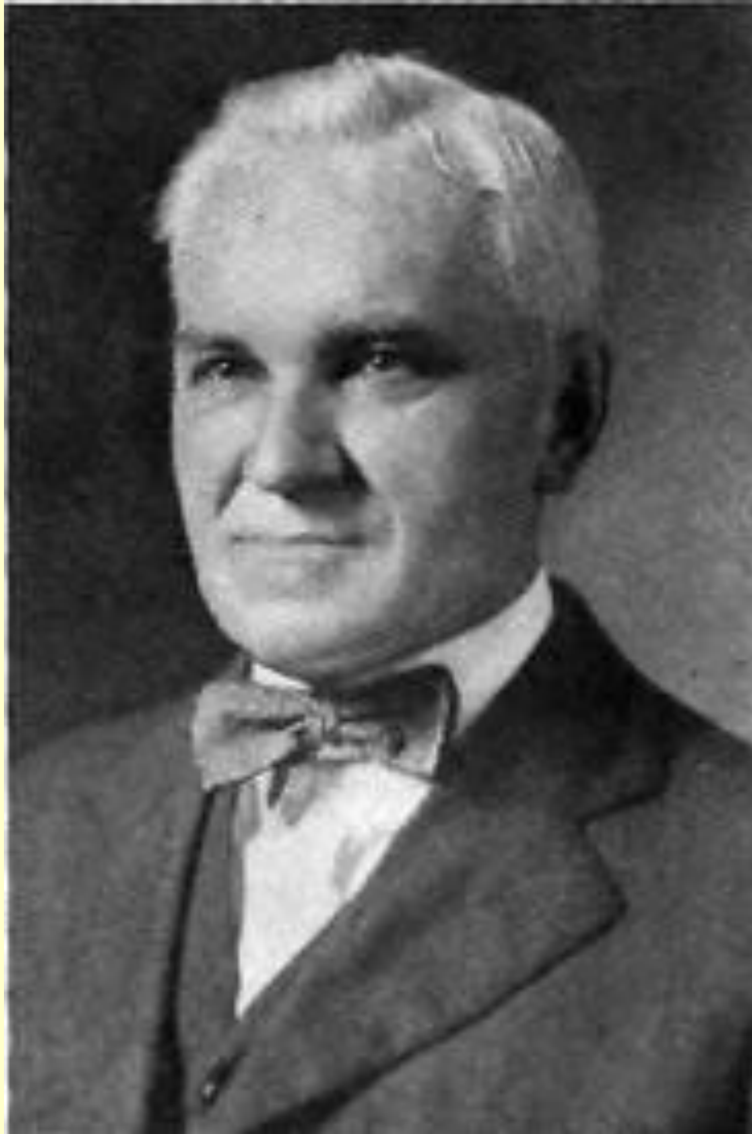
„PCE 1000” típusú hordozható készülék fémek keménységének mérésére.
Alkalmas Rockwell B & C, Vickers HV, Brinell HB, Shore HS és Leeb HL keménység mérésére



SHORE szerinti keménység



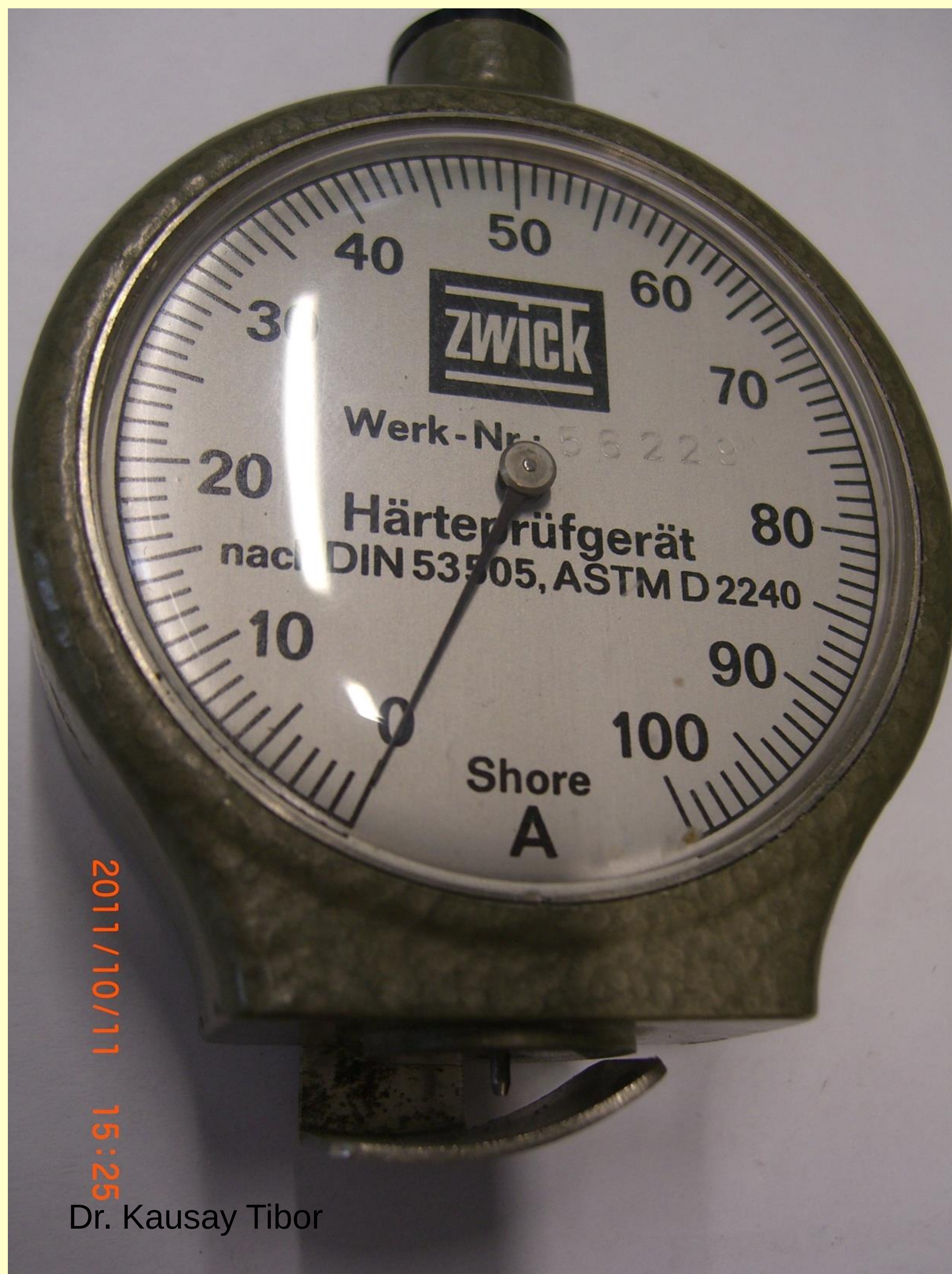
Gyémánt



A *Shore*-keménység névadója:
Albert F. Shore
(1876 – 1936)
amerikai kutató.

Szabadalmát 1926-ban nyújtotta be az Egyesült Államokban.

A *Shore*-keménység mérő eszközt Durometernek is nevezik.



Shore keménységmérővel elsősorban a műanyagok és a kemény gumik benyomódási keménységét lehet megmérni.

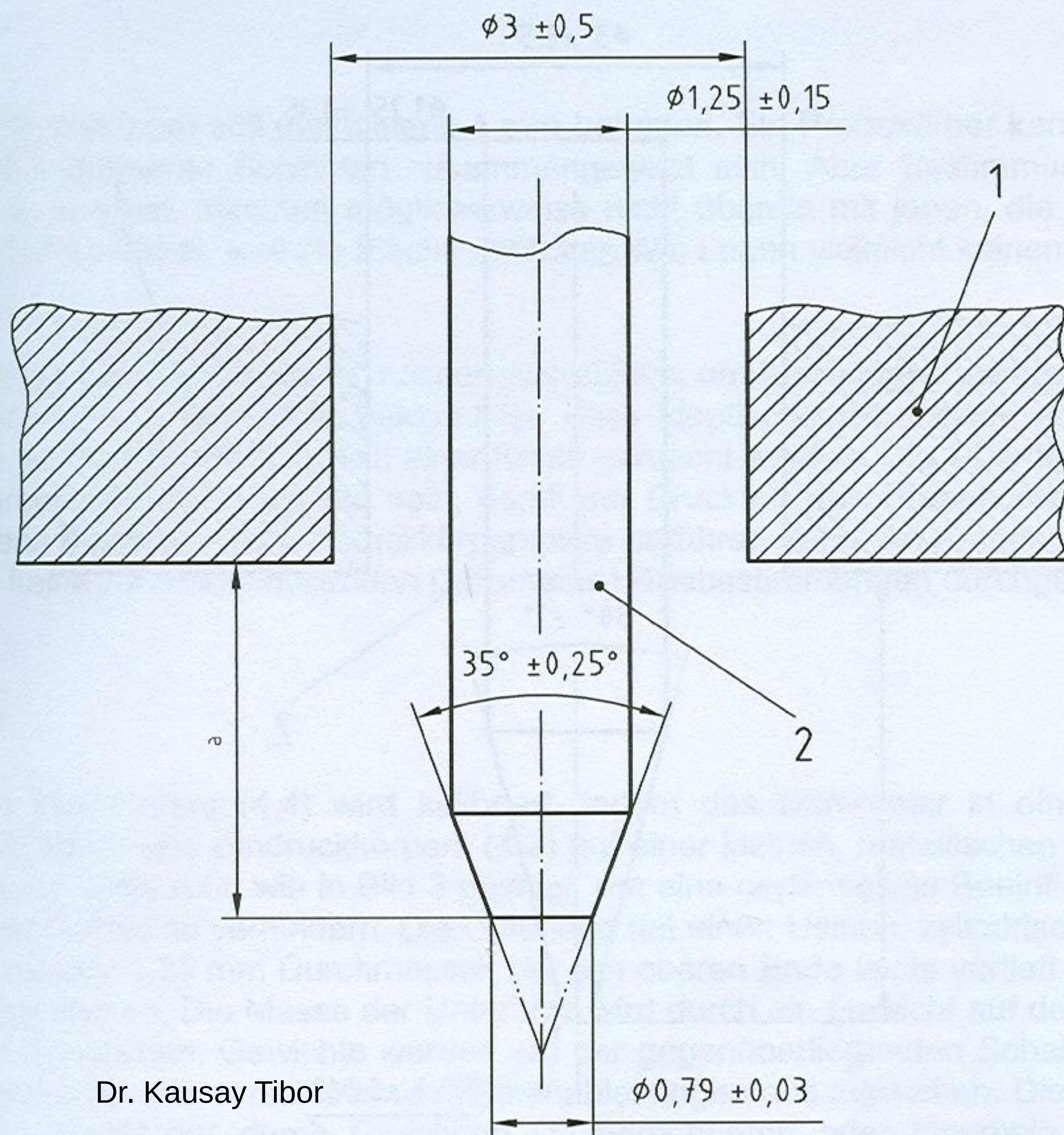
Az *„A” típusú Shore* keménységmérő a puhább, a *„D” típusú Shore* keménységmérő a keményebb anyagok keménységének meghatározására alkalmas.

„A” típusú Durometer





Dr. Kausay Tibor



„A” típusú Durometer



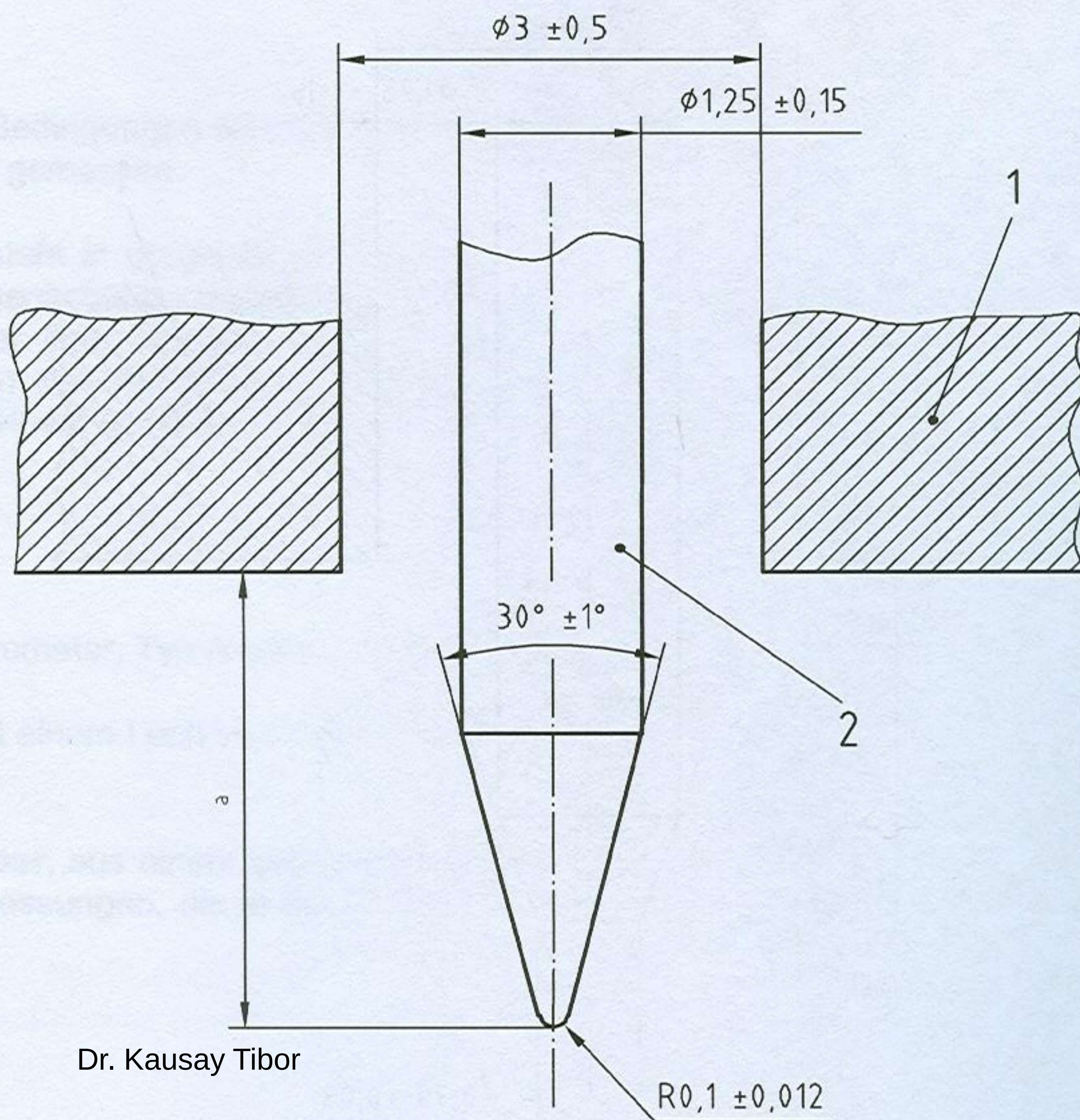
Dr. Kausay Tibor

„D” típusú Durometer





Dr. Kausay Tibor



„D” típusú Durometer

A *Shore*-keménység fordított arányban áll a benyomódási mélységgel, és az anyag rugalmassági modulusának és viszkoelasztikus tulajdonságának képezi függvényét.

A viszkoelasztikus anyag szakítószilárdsága az alakváltozás sebességének függvénye. A hosszú molekulák nem pillanatszerűen, hanem időben elhúzódva reagálnak a húzásra. Ha a makromolekulák reakciója elmarad az alakváltozás sebességétől, akkor például a gumi nem képes alkalmazkodni az alakváltozáshoz, nem viselkedik rugalmasan, törékeny lesz, és kisebb lesz a szakítószilárdsága.

A Durometer kialakítása, a mérőcsúcs benyomási sebessége stb. befolyásolja a mért Shore-keménységet, ezért a Shore-keménység más keménység értékre egyszerűen nem számítható át.

A Durometer teljes benyomódása, azaz a mérési tartománya (2,50 ± 0,04) mm). A műszeren a *Shore*-keménységet 0-100 beosztású skálán lehet leolvasni, amely skálát a 2,50 mm-es mérési tartomány 100 részre osztásával kaptak.

EUROPÄISCHE NORM

EUROPEAN STANDARD

NORME EUROPÉENNE

EN ISO 868

März 2003

ICS 83.080.01

Ersatz für EN ISO 868:1997

Deutsche Fassung

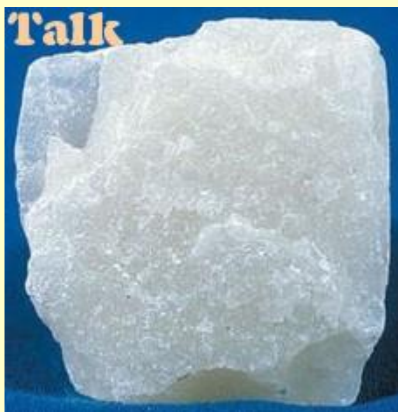
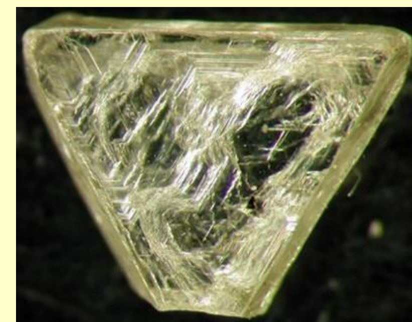
Kunststoffe und Hartgummi - Bestimmung der Eindruckhärte mit einem Durometer (Shore-Härte) (ISO 868:2003)

Plastics and ebonite - Determination of indentation hardness by means of a durometer (Shore hardness) (ISO 868:2003)

Plastiques et ébonite - Détermination de la dureté par pénétration au moyen d'un duromètre (dureté Shore) (ISO 868:2003)

Diese Europäische Norm wurde vom CEN am 2. Januar 2003 angenommen.

Die CEN-Mitglieder sind gehalten, die CEN/CENELEC-Geschäftsordnung zu erfüllen, in der die Bedingungen festgelegt sind, unter denen dieser Europäischen Norm ohne jede Änderung der Status einer nationalen Norm zu geben ist. Auf dem letzten Stand befindliche Listen dieser nationalen Normen mit ihren bibliographischen Angaben sind beim Management-Zentrum oder bei jedem CEN-Mitglied auf Anfrage erhältlich.

	**MOHS szerinti keménység**	 Gyémánt



A Mohs skála kidolgozója

Carl Friedrich Christian Mohs

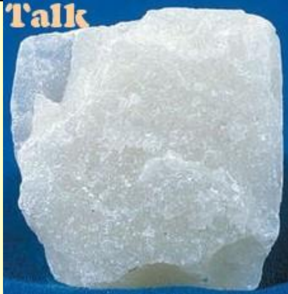
(1773 – 1839)

német mineralógus.

A Hallei Egyetemen matematikát, fizikát, kémiát tanult.

Grazban, Freibergben, Bécsben volt az ásványtan professzora.

A Mohs-skálát 1812-ben dolgozta ki.



ÁSVÁNYOK KEMÉNYSÉGE



Gyémánt

Ásványok karcolási keménységét a Mohs-féle keménységgel (Mohs-skálával) jellemzik. A *Mohs*-keménységi skála csak relatív értékeket ad (minden ásvány karcolja a nála puhábbakat).

A *Mohs*-skála értékei a következők:

1. **talk, zsírkő (körömmel is megkarcolható)**
2. **gipsz (körömmel is megkarcolható)**
3. **kalcit (rézpénzzel megkarcolható)**
4. **fluorit (késsel karcolható)**
5. **apatit (üveggel megkarcolható)**
6. **ortoklász, földpátok (az üveget megkarcolják)**
7. **kvarc (az üveget és a földpátokat megkarcolja)**
8. **topáz (az üveget és a kvarcot megkarcolja)**
9. **korund (az üveget és a topázt megkarcolja)**
10. **gyémánt (a legkeményebb valamennyi ásvány között)**

	1	Speckstein	Talc	$Mg_3(Si_2O_5)_2(OH)_2$
(Aluminium . . .)	2	Gips	Gypsum	$CaSO_4 \cdot 2H_2O$
	3	Kalkspat	Calcite	$CaCO_3$
	4	Flußspat	Fluorite	CaF_2
(Weicher Stahl . . .)	5	Apatit	Apatite	$Ca_5(PO_4)_3(F,Cl)$
(Tafelglas . . .)	6	Feldspat	Orthoclase feldspar	$KAlSi_3O_8$
	7	Quarz	Quartz	SiO_2
	8	Topas	Topaz	$Al_2SiO_4(F,OH)$
(Gehärteter Stahl)	9	Korund	Corundum	Al_2O_3
(Hartmetall . . .)	10	Diamant	Diamond	C

Ha a *Vikers*-keménységet összehasonlításul használjuk, akkor a *Mohs-keménység* 9. és 10. fokozata között a különbség ötször akkora, mint az 1. és a 9. fokozat között.

A *Mohs*-keménységet csak az ásványtanban lehet használni, mert a fémek keménységének jellemzésére túl durva.

Forrás: http://www.htl-steyr.ac.at/~morg/htl/FET/haertepr.html

A tisztelt Érdeklődő a keménységmérésről részletesebb dolgozatot itt:
http://www.betonopus.hu/notesz/kemenyseg/kemenyseg.pdf

a keménység mérési eredmények átszámításáról részletes táblázatot itt:
http://www.betonopus.hu/notesz/kemenyseg/kemenyseg-atsz-tabl.pdf
talál.

Köszönöm a szíves figyelmüket

Dr. Kausay Tibor